

**ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ ПОРОШКА АЛЮМИНИЯ
НА ВОСПЛАМЕНЕНИЕ И УДЕЛЬНЫЙ ИМПУЛЬС ТЯГИ ВЭМ**

Янковский С.А., Коротких А.Г., Архипов В.А.

Научный руководитель: Коротких А.Г., д. ф.-м. н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: jankovsky@tpu.ru

Современные высокоэнергетические материалы (ВЭМ) содержат в качестве окислителя перхлорат и нитрат аммония, в качестве горючего – полимерный каучук, в качестве металлического горючего – порошок алюминия, максимальное содержание которого достигает 22 масс. %. Данные смесевые композиции ВЭМ используются в качестве источника энергии твердотопливных ракетных двигателей и газогенераторов различного значения. Регулирование скорости горения и удельного импульса двигателя в основном достигается за счет введения в состав смесевых композиций ВЭМ катализаторов горения (порошки оксидов и солей металлов), путем частичной или полной замены перхлората (нитрата) аммония нитраминами, повышением коэффициента избытка окислителя, а так же изменением размеров частиц окислителя и металлического окислителя. Одним из известных способов регулирования скорости горения ВЭМ является замена микроразмерных порошков алюминия (АСД-1, АСД-4) на ультрадисперсный порошок алюминия (УДП) Alex, размер частиц которого на порядок меньше [1].

В работе представлены методики измерения времени задержки зажигания (по появлению пламени) и реактивной силы оттекающих от поверхности горения ВЭМ продуктов газификации, а также основные характеристики процесса зажигания топлив при инициировании лазерным излучением.

Исследование процесса зажигания ВЭМ проводилось на базовой композиции, содержащей бидисперсный порошок перхлорат аммония (ПХА) дисперсностью 160–315 и менее 50 мкм, бутадиеновый каучук СКДМ-80 и УДП алюминия Alex. В качестве каталитической добавки процесса горения ВЭМ использовались микроразмерный порошок бора и УДП железа в количестве 2 масс. % путем частичной замены Alex. Содержание компонентов в составе ВЭМ представлено в табл. 1.

Таблица 1. Исследуемые композиции ВЭМ

№ образца	Содержание компонентов, масс. %				
	ПХА	СКДМ-80	Alex	B	Fe
1	64.6	19.7	15.7	–	–
2	64.6	19.7	13.7	2.0	–
3	64.6	19.7	13.7	–	2.0

Исследуемые образцы ВЭМ цилиндрической формы диаметром 10 и высотой 30 мм изготавливали методом механического перемешивания исходных компонентов с последующим проходным прессованием под давлением ~215 МПа и вулканизацией. Плотность отвержденных ВЭМ в зависимости от их компонентного состава составляла 1.58–1.61 г/см³. Непосредственно перед опытом облучаемую поверхность образца получали путем среза ножом микротомом. Высота исследуемого образца составляла 5 мм. При этом торцевая поверхность была ровной без углублений и выступов.

Зажигание образцов ВЭМ осуществлялось с помощью установки на основе одномодового СО₂-лазера непрерывного действия [2]. Сигналы от фотодиода, датчика реактивной силы [3], термопары, измерителя мощности излучения передавались через АЦП Е-14-140 и записывались на РС (персональный компьютер), затем обрабатывались с помощью программного приложения LGraph2. Время задержки зажигания ВЭМ определяли, по разности времени от сигналов термопары и фотодиода, один из которых при открытии затвора лазерного излучения включал развертку в программном продукте LGraph2, второй регистрировал появление пламени образца ВЭМ. Мощность лазерного излучения, падающего на образец ВЭМ, измерялась с помощью прибора LaserpowermeterTPM-300.

Измерение единичного импульса в момент воспламенения и горения ВЭМ производилось на основании методики определения термодинамического значения единичного импульса композиций ВЭМ, основанная на измерении реактивной силы продуктов газификации, оттекающих от горячей поверхности образца твердого топлива [4].

В результате проведенного исследования определены следующие параметры: критические условия воспламенения, тепловой поток, времена задержки газификации продуктов t_{gas} и воспламенения t_{ign} смесевых композиций ВЭМ.

Результаты некоторых измерений представлены на рис. 1.

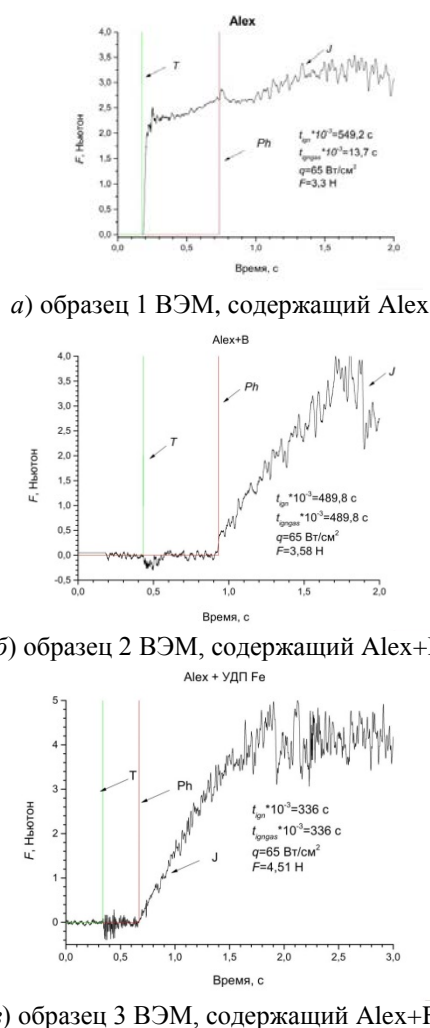


Рис.1. Зависимость сигналов термопары, фотодиода и датчика реактивной силы от времени для исследуемых образцов ВЭМ

Анализ результатов исследования процесса зажигания составов ВЭМ, показал, что частичная замена УДП алюминия Alex на порошок бора и железа приводит к снижению времени задержки зажигания t_{ign} в 1.1–1.6 раза при значении плотности потока излучения 65 Вт/см² за счет каталитического эффекта термического разложения перхлората аммония при температурах прогретого слоя до 380 °С и возможного увеличения температурного градиента в приповерхностном реакционном слое ВЭМ при лучистом нагреве в момент появления пламени. Установлено, что время задержки газификации t_{gas} образца 1 ВЭМ, содержащего Alex, значительно меньше, чем время задержки зажигания t_{ign} за счет быстрого прогрева реакционного слоя образца и выхода продуктов газификации окислителя и горючего-связующего с поверхности образца. Для образцов 2, 3, содержащих порошки Alex+B, Alex+Fe, времена задержки газификации и зажигания равны. При этом импульс реактивной

силы данных образцов ВЭМ возрастает в 1.1–1.4 раза.

Таким образом получено, что частичная замена нанопорошка Alex на УДП железа и бора в количестве до 2 масс. % в составе ВЭМ на основе ПХА и СКДМ-80 приводит к интенсификации процесса зажигания (уменьшению времени задержки) за счет каталитического влияния на разложение окислителя и горючего. Не исключается возможность предварительного окисления металлических добавок, оксиды которых являются широко известными катализаторами процесса горения гетерогенных конденсированных систем на основе перхлората и нитрата аммония.

Обнаружено, что время задержки газификации t_{gas} образца 1 ВЭМ, содержащего Alex, в 40 раз меньше, чем время задержки зажигания t_{ign} за счет более быстрого прогрева реакционного слоя образца ВЭМ, содержащего наноразмерные частицы алюминия порошка Alex. Для образцов 2, 3 ВЭМ, содержащих порошки Alex и бора, Alex и железа, времена задержки газификации и зажигания равны. При этом импульс реактивной силы данных образцов ВЭМ возрастает в 1.1–1.4 раза при стационарном процессе горения.

Список литературы

1. Архипов В.А., Коротких А.Г., Янковский С.А. Влияние порошков железа, титана, бора на энергетические характеристики зажигания высокэнергетических композиций // Материалы трудов XIX всероссийской научно-технической конференции «Энергетика, эффективность, надежность, безопасность». 2013. Том I. С. 363–365.
2. Arkhipov V.A., Korotkikh A.G. The influence of aluminum powder dispersity on composite solid propellants ignitability by laser radiation // Combustion and Flame. 2012. Iss. 159. P. 409–415.
3. Кискин А.Б., Симоненко В.Н. Особенности применения метода регистрации реактивной силы для измерения нестационарной скорости горения // Физика горения и взрыва. 2000. Т. 36, № 1. С. 52–58.
4. Патент на изобретение № 2494394 по классу МПК G01N 33/22. Способ определения единичного импульса твердого топлива / Архипов В.А., Зарко В.Е., Кискин А.Б., Коротких А.Г. // Заявлено 26.12.2011. Опубликовано 27.09.2013. Бюл. № 27.